

BEST AVAILABLE COPY

PCT/EP2004/004442
14.05.04



**Europäisches
Patentamt**

**European
Patent Office**

**Office européen
des brevets**

REC'D 27 MAY 2004

WIPO

PCT

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

03012441.6

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk

Anmeldung Nr:
Application no.: 03012441.6
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 30.05.03
Date de dépôt:

o

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
Wittelsbacherplatz 2
80333 München
ALLEMAGNE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se référer à la description.)

Brennkammer

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

F23R/

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LU MC NL
PT RO SE SI SK TR LI

200306127

EPO - Munich
3

30. Mai 2003

1

Beschreibung

Brennkammer

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf eine Brennkammer für eine Gasturbine, deren Brennkammerwand innenseitig mit einer von einer Anzahl von Hitzeschildelementen gebildeten Auskleidung versehen ist, wobei das oder jedes Hitzeschildelement einen mit einem Kühlmittel beaufschlagbaren Innenraum bildet. Die
- 10 Erfindung betrifft weiterhin eine Gasturbine mit einer derartigen Brennkammer.

- Brennkammern sind Bestandteil von Gasturbinen, die in vielen Bereichen zum Antrieb von Generatoren oder von Arbeitsmaschinen eingesetzt werden. Dabei wird der Energieinhalt eines
- 15 Brennstoffs zur Erzeugung einer Rotationsbewegung einer Turbinenwelle genutzt. Der Brennstoff wird dazu von Brennern in den ihnen nachgeschalteten Brennkammern verbrannt, wobei von einem Luftverdichter verdichtete Luft zugeführt wird. Durch
- 20 die Verbrennung des Brennstoffs wird ein unter hohem Druck stehendes Arbeitsmedium mit einer hohen Temperatur erzeugt. Dieses Arbeitsmedium wird in eine den Brennkammern nachgeschaltete Turbineneinheit geführt, wo es sich arbeitsleistend entspannt.

- 25 Dabei kann jedem Brenner eine separate Brennkammer zugeordnet sein, wobei das aus den Brennkammern abströmende Arbeitsmedium vor oder in der Turbineneinheit zusammengeführt sein kann. Alternativ kann die Brennkammer aber auch in einer so
- 30 genannten Ringbrennkammer-Bauweise ausgeführt sein, bei der eine Mehrzahl, insbesondere alle, der Brenner in eine gemeinsame, üblicherweise ringförmige Brennkammer münden.

- Bei der Auslegung derartiger Gasturbinen ist zusätzlich zur
- 35 erreichbaren Leistung üblicherweise ein besonders hoher Wirkungsgrad ein Auslegungsziel. Eine Erhöhung des Wirkungsgrades lässt sich dabei aus thermodynamischen Gründen grundsätz-

lich durch eine Erhöhung der Austrittstemperatur erreichen, mit der das Arbeitsmedium von der Brennkammer ab- und in die Turbineneinheit einströmt. Daher werden Temperaturen von etwa 1200 °C bis 1500 °C für derartige Gasturbinen angestrebt und auch erreicht.

Bei derartig hohen Temperaturen des Arbeitsmediums sind jedoch die diesem Medium ausgesetzten Komponenten und Bauteile hohen thermischen Belastungen ausgesetzt. Um dennoch bei hoher Zuverlässigkeit eine vergleichsweise lange Lebensdauer der betroffenen Komponenten zu gewährleisten, ist üblicherweise eine Ausgestaltung mit besonders hitzebeständigen Materialien und eine Kühlung der betroffenen Komponenten, insbesondere der Brennkammer, nötig. Um thermische Verspannungen des Materials zu verhindern, welche die Lebensdauer der Komponenten begrenzt, wird in der Regel angestrebt, eine möglichst gleichmäßige Kühlung der Komponenten zu erreichen.

Die Brennkammerwand ist dazu in der Regel auf ihrer Innenseite mit Hitzeschildelementen ausgekleidet, die mit besonders hitzebeständigen Schutzschichten versehen werden können, und die durch die eigentliche Brennkammerwand hindurch gekühlt werden. Dazu wird in der Regel ein auch als "Prallkühlung" bezeichnetes Kühlverfahren eingesetzt. Bei der Prallkühlung wird ein Kühlmittel, in der Regel Kühlluft, durch eine Vielzahl von Bohrungen in der Brennkammerwand den Hitzeschildelementen zugeführt, so dass das Kühlmittel im Wesentlichen senkrecht auf ihre der Brennkammerwand zugewandte auf der Kaltseite gebildete Kühloberfläche prallt. Das durch den Kühlprozess aufgeheizte Kühlmittel, z.B. Kühlluft, wird anschließend aus dem Innenraum, den die Brennkammerwand mit den Hitzeschildelementen bildet, abgeführt. Ein weiterer Kühlprozess, bei der eine Längshinterströmung der Hitzeschildelemente entlang einer der Brennkammerwand zugewandten Kühloberfläche ausgenutzt wird, ist die sogenannte konvektive Kühlung.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Brennkammer der oben genannten Art anzugeben, die bei vergleichsweise einfacher Bauweise für einen besonders hohen Anlagenwirkungsgrad geeignet ist und bei der zugleich die mit hohen
5 Temperaturen belasteten Bereiche effektiv kühlbar sind. Weiterhin soll eine Gasturbine mit der oben genannten Brennkammer angegeben werden.

10 Bezüglich der Brennkammer wird diese Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch eine Brennkammer für eine Gasturbine, deren Brennkammerwand innenseitig mit einer von einer Anzahl von Hitzeschildelementen gebildeten Auskleidung versehen ist, wobei das oder jedes Hitzeschildelement mit der Brennkammerwand einen mit einem Kühlmittel beaufschlagbaren Innenraum bildet,
15 in dem ein Strömungselement zur gezielten Einstellung eines Kühlmittelstroms eingefügt ist.

Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, dass nach einer erfolgten konstruktiven Auslegung einer Brennkammer die Geometrie des für Kühlungszwecke gebildeten Innenraums festgelegt ist. Bei einer Beaufschlagung mit Kühlmittel wird daher
20 der hierfür bereitgestellte Innenraum im Wesentlichen gleichmäßig ausgefüllt und durchströmt. Eine Anpassung der Kühlleistung an den tatsächlichen lokalen Kühlmittelbedarf eines Hitzeschildelements ist dadurch nicht möglich. Die Beaufschlagung des Innenraums zur Kühlung des Hitzeschildelements ist aus diesem Grunde recht unspezifisch, da nicht hinreichend flexibel an die jeweiligen tatsächlichen lokalen Kühlungsanforderungen anpassbar. Einzig durch die Gesamtmenge
25 des dem Zwischenraum pro Zeit zugeführten Kühlmittels ist die Wärmeabfuhr aus dem Innenraum in gewissen Grenzen einstellbar. Das Hauptaugenmerk bei der herkömmlichen Innenraumkühlung liegt hierbei jedoch - insbesondere im Hinblick auf einen besonders hohen Anlagenwirkungsgrad - in einer zuverlässigen und gleichförmig-flächendeckenden Beaufschlagung der
30 Hitzeschildelemente mit dem Kühlmittel.
35

Nachteiligerweise werden hierdurch Bereiche des Hitzeschildelements mit lokal-niedrigerem Kühlmittelbedarf gleichermaßen beaufschlagt wie diejenigen Bereiche, die mit höheren Temperaturen belastet sind, so dass über den tatsächlichen Bedarf Kühlmittel verwendet wird.

- Mit der Erfindung wird hingegen erstmals ein neuer Weg aufgezeigt, eine Anpassung der Kühlleistung an die lokalen Erfordernisse in dem Innenraum zu realisieren. Durch die Einfügung eines Strömungselements ist vorteilhafterweise auch nach erfolgter Auslegung der Brennkammer - d.h. bei festgelegter Geometrie des Innenraums - eine betriebsbedingte Kühlungsanpassung möglich. Das Strömungselement in dem Innenraum wirkt dabei unmittelbar auf den Kühlmittelstrom im Innenraum und führt zu dessen gezielter Einstellung hinsichtlich Stärke und Strömungsrichtung dergestalt, dass das Hitzeschildelement bedarfsgerecht kühlbar ist. Die Kühleffizienz wird hierdurch gesteigert.
- 20 In besonders bevorzugter Ausgestaltung der Brennkammer ist durch das Strömungselement ein Strömungskanal für Kühlmittel gebildet ist, in dem die Strömungsgeschwindigkeit des Kühlmittelstroms gegenüber der Strömungsgeschwindigkeit stromauf des Strömungselements erhöht ist. Das in den Innenraum angeordnete Strömungselement führt demnach zu einer lokalen Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit von Kühlmittel in dem Strömungskanal. Durch die erhöhte Strömungsgeschwindigkeit ist dementsprechend lokal ein erhöhter Wärmetransfer von dem thermisch hochbelasteten Hitzeschildelement auf das Kühlmittel, z.B. Kühlluft, erreicht. Der Strömungskanal wird dabei vorteilhafterweise unmittelbar von einer zu kühlenden Wand des Hitzeschildelements begrenzt. Der Wärmetransfer in das Kühlmittel und der Wärmeabtransport ist durch die erhöhte Strömungsgeschwindigkeit begünstigt. Die Strömungsgeschwindigkeitserhöhung erfolgt beispielsweise durch eine lokale Verringerung des Strömungsquerschnitts durch das Strömungselement im Innenraum. Die Einfügung eines im einfachsten Fall

näherungsweise planaren Strömungselements mit einer vorgegebenen Wandstärke in den Innenraum bewirkt z.B. unmittelbar eine Reduzierung des Spaltmaßes des Durchtrittskanals für das Kühlmittel um den Betrag dieser Wandstärke. Im Bereich des reduzierten Spaltmaßes stellt sich lokal eine erhöhte Strömungsgeschwindigkeit des Kühlmittels und damit eine gesteigerte Kühlleistung.

Vorzugsweise ist einem Hitzeschildelement ein jeweiliges Strömungselement zur Kühlung eines thermisch hochbelasteten Wandabschnitts des Hitzeschildelements zugeordnet. Damit ist für jedes Hitzeschildelement zur Kühlung je nach Anforderung eine individuelle eine gezielte Einstellung des Kühlmittelstroms gewährleistet. Die Anordnung und die konstruktive Auslegung des Strömungselements zur Kühlungsanpassung eines Hitzeschildelement ist dabei derart, dass der hierdurch gebildete Strömungskanal für das Kühlmittel einen Wandabschnitt mit erhöhter Temperaturbelastung im Betrieb der Brennkammer mit Kühlmittel versorgt. Durch die erhöhte Geschwindigkeit in dem Strömungskanal wird gerade dieser Wandabschnitt verstärkt gekühlt. In anderen Wandabschnitten ist dies hingegen nicht erforderlich und es genügt eine verringerte Strömungsgeschwindigkeit.

Beispielsweise kann das so kühlbare Hitzeschildelement eine Längsachse und eine Querachse aufweisen und umfasst eine Wand mit einer Heißeite, die eine mit einem heißen Medium, z.B. heißes Verbrennungsgas, beaufschlagbare Heißeitenoberfläche aufweist sowie eine der Heißeite gegenüberliegende Kaltseite. Die Kaltseite ist dabei die der Brennkammerwand zugewandte Seite des Hitzeschildelements und begrenzt den Innenraum. Hierbei kann das Hitzeschildelement einen ersten Wandabschnitt und einen entlang einer Längsachse an den ersten Wandabschnitt angrenzenden zweiten Wandabschnitt umfassen. Die dem Innenraum zugewandte Seite des Hitzeschildelements bildet eine Kaltseite der Wandabschnitte, die zu Kühlungszwecken mit dem Kühlmittel beaufschlagt wird. Der zweite Wandabschnitt

kann dabei gegenüber dem ersten Wandabschnitt in Richtung der Heißseite geneigt sein. Je nach Neigungswinkel können somit unterschiedliche Einbau- bzw. Betriebssituationen des Hitzeschildelements realisiert werden.

5

Beispielsweise bei einer Ringbrennkammer einer Gasturbine, die mit einem sogenannten Brennkammerliner zur Begrenzung und zur Strömungsführung des Heißgases zu einer nachgeschalteten Turbine ausgestattet ist, kann das Hitzeschildelement als ein
10 Segment des Gasturbinenliners eingesetzt werden. Mit einer Vielzahl solcher Hitzeschildelemente kann über den vollen Umfang der Ringbrennkammer eine vollständige flächige Auskleidung der Brennkammerwand der Ringbrennkammer durchgeführt werden. Bei derartigen Ringbrennkammern ist nämlich der Heiß-
15 gasstrom vom Brenneraustritt in Richtung der Turbine um einen Winkel umzulenken. Zu diesem Umlenkzweck ist unter anderem der Brennkammerliner vorgesehen. Mit einem Brennkammerliner, der eines oder mehrere lokal gezielt kühlbare Hitzeschildelemente aufweist ist dies besonders einfach möglich. Der erste
20 Wandabschnitt, der dem Brenneraustritt zugewandt und dem heißen Verbrennungsgas auf der Heißseite unmittelbar ausgesetzt ist bedarf einer erhöhten Kühlleistung, um einen sicheren Betrieb der Brennkammer zu gewährleisten. Mit der Erfindung ist aber gerade eine gezielte Kühlung dieses thermisch hochbelasteten Wandabschnitts des Hitzeschildelements gewährleistet.
25 Daher ist ein Hitzeschildelement mit zugeordnetem Strömungselement in besonderer Weise für eine hitzebeständige Brennkammerauskleidung geeignet, da aufgrund des ersten und des demgegenüber geneigten zweiten Wandabschnitts der Umlenkwinkel und der lokale Kühlleistungsbedarf auf die jeweiligen Gegebenheiten hin eingestellt werden kann. Dabei ist noch zusätzlich eine besonders vorteilhafte Einströmung der durch den Verbrennungsprozess erzeugten Heißgase in eine der Brennkammer nachgeschaltete Turbine erreichbar.

35

Vorzugsweise ist das Hitzeschildelement als ein einschaliger Hohlkörper ausgestaltet, welcher Hohlkörper einen Hohlraum ausweist, in dem das Strömungselement angeordnet ist.

5 Diese konstruktive Ausgestaltung ermöglicht ein sicheres Einfügen und Unterbringen des Strömungselements bei der Montage der Brennkammer oder bei einer Nachrüstung einer Brennkammer mit einem Strömungselement zur Kühlungsanpassung.

10 Weiterhin ist das Strömungselement gegen eine Beaufschlagung mit Heißgas geschützt, da es sich in dem Hohlraum befindet, der gegenüber der Heißeite geschlossen ist. Das Strömungselement ist für eine möglichst effiziente und angepasste Kühlung entsprechend ausgelegt und in dem Hohlraum so platziert, dass hohe Strömungsgeschwindigkeiten in den thermisch stark belasteten Wandabschnitten resultieren. Die Halbschale des
15 einschaligen Hohlkörpers ist dabei mit der offenen Seite in Richtung der Brennkammerwand ausgerichtet, so dass der Hohlraum zugleich ein Teilraum des Innenraums bildet, der zur Kühlungs Zwecken mit Kühlmittel beaufschlagt wird.

20 In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung ist das Strömungselement formschlüssig an der Brennkammerwand angebracht. Der Formschluss führt zu einer im Hinblick auf Schwingungen mechanisch besonders wenig anfälligen Anordnung von Hitzeschildelement, Strömungselement und Brennkammerwand. Ferner
25 erleichtert der Formschluss zwischen Brennkammerwand und Strömungselement die Montage und ermöglicht ein präzises Anbringen des Strömungselements in eine vorbestimmte Position, so dass das Strömungselement die gewünschte Kühlaufgabe im Innenraum erfüllen kann.

30 Für einen besonders hohen Gesamtwirkungsgrad der Brennkammer wird vorteilhafterweise der Wärmeeintrag in das Kühlmittel für den eigentlichen Energieumwandlungsprozess in der Brennkammer zurückgewonnen. Dazu ist vorteilhafterweise eine Einspeisung der bei der Brennkammerkühlung erwärmten, als Kühlmittel im Innenraum verwendeten Kühlluft in die Brennkammer
35 vorgesehen, wobei die vorgewärmte Kühlluft als ausschließli-

che oder zusätzliche Verbrennungsluft dienen kann. Um das abströmende Kühlmittel in diesem Sinne dem Verbrennungsprozess in der Brennkammer zuzuführen, ist der Innenraum strömungstechnisch vorzugsweise ausgangsseitig mit einem Sammelraum verbunden, der seinerseits luftseitig der Brennkammer vorgeschaltet ist. Über diesen kann das erwärmte Kühlmittel erforderlichenfalls durch eine Drosseleinrichtung mit dem übrigen Verdichtermassenstrom vermischt und dem Verbrennungsprozess zugeführt werden, so dass eine geschlossene Luftkühlung erreicht ist.

Bevorzugt ist das Strömungselement zur gezielten Einstellung des Kühlmittelstroms im Innenraum mit der Brennkammerwand lösbar verbunden. Die Verbindung kann z.B. durch eine Schraubverbindung erreicht sein, wobei die Befestigung des Strömungselements von außen durch die Brennkammerwand oder von Innen, d.h. innerhalb des Innenraums erfolgt. Die Verbindung kann aber auch durch eine Verhakung erreicht sein. Das Hitzeschildelement und die Brennkammerwand weisen zum Erreichen einer lösbaren Verbindung entsprechende Verbindungs- bzw. Befestigungselemente auf.

Weiter bevorzugt ist das Strömungselement aus Metall, insbesondere ein Metallblech oder eine Metalltafel oder ein metallisches Formteil, z.B. ein Gußteil.

Die oben genannte Brennkammer ist vorzugsweise Bestandteil einer Gasturbine.

Im folgenden wird die Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen in vereinfachter und nicht maßstäblicher Darstellung:

FIG 1 einen Halbschnitt durch eine Gasturbine,

FIG 2 einen Schnitt durch eine Brennkammer,

- FIG 3 in einer Schnittansicht einen Ausschnitt der Brennkammer im Bereich der Brennkammerwand mit einem Strömungselement,
- 5 FIG 4 in einer Schnittansicht einen Ausschnitt der Brennkammer mit gegenüber Fig. 3 modifiziertem Strömungselement,
- 10 FIG 5 in einer perspektivischen Darstellung ein Hitzeschildelement,
- FIG 6 eine Ansicht des in Figur 5 dargestellten Hitzeschildelements entlang dessen Längsachse auf die Stirnseite, und
- 15 FIG 7 in einer perspektivischen Explosionsdarstellung einen Ausschnitt einer Brennkammerwand mit Hitzeschildelement und mit Strömungselement.
- 20 Gleiche Teile sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.
- Die Gasturbine 1 gemäß Fig. 1 weist einen Verdichter 2 für Verbrennungsluft, eine Brennkammer 4 sowie eine Turbine 6 zum
- 25 Antrieb des Verdichters 2 und eines nicht dargestellten Generators oder einer Arbeitsmaschine auf. Dazu sind die Turbine 6 und der Verdichter 2 auf einer gemeinsamen, auch als Turbinenläufer bezeichneten Turbinenwelle 8 angeordnet, mit der auch der Generator bzw. die Arbeitsmaschine verbunden
- 30 ist, und die um ihre Mittelachse 9 drehbar gelagert ist. Die in der Art einer Ringbrennkammer ausgeführte Brennkammer 4 ist mit einer Anzahl von Brennern 10 zur Verbrennung eines flüssigen oder gasförmigen Brennstoffs bestückt.
- 35 Die Turbine 6 weist eine Anzahl von mit der Turbinenwelle 8 verbundenen, rotierbaren Laufschaufeln 12 auf. Die Laufschaufeln 12 sind kranzförmig an der Turbinenwelle 8 angeordnet

und bilden somit eine Anzahl von Laufschaufelreihen. Weiterhin umfasst die Turbine 6 eine Anzahl von feststehenden Leitschaufeln 14, die ebenfalls kranzförmig unter der Bildung von Leitschaufelreihen an einem Innengehäuse 16 der Turbine 6 befestigt sind. Die Laufschaufeln 12 dienen dabei zum Antrieb der Turbinenwelle 8 durch Impulsübertrag vom die Turbine 6 durchströmenden heißen Medium, dem Arbeitsmedium M. Die Leitschaufeln 14 dienen hingegen zur Strömungsführung des Arbeitsmediums M zwischen jeweils zwei in Strömungsrichtung des Arbeitsmediums M gesehen aufeinanderfolgenden Laufschaufelreihen oder Laufschaufelkränzen. Ein aufeinanderfolgendes Paar aus einem Kranz von Leitschaufeln 14 oder einer Leitschaufelreihe und aus einem Kranz von Laufschaufeln 12 oder einer Laufschaufelreihe wird dabei auch als Turbinenstufe bezeichnet.

Jede Leitschaufel 14 weist eine auch als Schaufelfuß bezeichnete Plattform 18 auf, die zur Fixierung der jeweiligen Leitschaufel 14 am Innengehäuse 16 der Turbine 6 als Wandelement angeordnet ist. Die Plattform 18 ist dabei ein thermisch vergleichsweise stark belastetes Bauteil, das die äußere Begrenzung eines Heizgaskanals für das die Turbine 6 durchströmende Arbeitsmedium M bildet. Jede Laufschaufel 12 ist in analoger Weise über eine auch als Schaufelfuß bezeichnete Plattform 20 an der Turbinenwelle 8 befestigt.

Zwischen den beabstandet voneinander angeordneten Plattformen 18 der Leitschaufeln 14 zweier benachbarter Leitschaufelreihen ist jeweils ein Führungsring 21 am Innengehäuse 16 der Turbine 6 angeordnet. Die äußere Oberfläche jedes Führungsrings 21 ist dabei ebenfalls dem heißen, die Turbine 6 durchströmenden Arbeitsmedium M ausgesetzt und in radialer Richtung vom äußeren Ende 22 der ihm gegenüber liegenden Laufschaufel 12 durch einen Spalt beabstandet. Die zwischen benachbarten Leitschaufelreihen angeordneten Führungsringe 21 dienen dabei insbesondere als Abdeckelemente, die die Innenwand 16 oder andere Gehäuse-Einbauteile vor einer thermischen

Überbeanspruchung durch das die Turbine 6 durchströmende hei-
ße Arbeitsmedium M schützt.

Die Brennkammer 4 ist von einem Brennkammergehäuse 29 be-
5 grenzt, wobei brennkammerseitig eine Brennkammerwand 24 ge-
bildet ist. Im Ausführungsbeispiel ist die Brennkammer 4 als
so genannte Ringbrennkammer ausgestaltet, bei der eine Viel-
zahl von in Umfangsrichtung um die Turbinenwelle 8 herum an-
geordneten Brennern 10 in einen gemeinsamen ringförmigen
10 Brennkammerraum münden. Dazu ist die Brennkammer 4 in ihrer
Gesamtheit als entsprechend ringförmige Struktur ausgestal-
tet, die um die Turbinenwelle 8 herum positioniert ist.

Zur weiteren Verdeutlichung der Ausführung der Brennkammer-
15 wand 24 ist in Fig. 2 die Brennkammer 4 im Schnitt darge-
stellt, die sich torusartig um die Turbinenwelle 8 herum
fortsetzt. Wie in der Darstellung erkennbar ist, weist die
Brennkammer 4 einen Anfangs- oder Einströmabschnitt auf, in
den endseitig der Auslass des jeweils zugeordneten Bren-
20 ners 10 mündet. In Strömungsrichtung des Arbeitsmediums M ge-
sehen verengt sich sodann der Querschnitt der Brennkammer 4,
wobei dem sich einstellenden Strömungsprofil des Arbeitsmedi-
ums M in diesem Raumbereich Rechnung getragen ist. Ausgangs-
seitig weist die Brennkammer 4 im Längsschnitt eine Krümmung
25 auf, durch die das Abströmen des Arbeitsmediums M aus der
Brennkammer 4 in einer für einen besonders hohen Impuls- und
Energieübertrag auf die strömungsseitig gesehen nachfolgende
erste Laufschaufelreihe begünstigt ist. Das Arbeitsmedium M
wird beim Durchströmen der Brennkammer von einer Richtung im
30 Wesentlichen parallel zur Brennerachse 39 in eine Richtung
parallel zur Mittelachse 9 umgelenkt.

Zur Erzielung eines vergleichsweise hohen Wirkungsgrades ist
die Brennkammer 4 für eine vergleichsweise hohe Temperatur
35 des Arbeitsmediums M von etwa 1200 °C bis 1500 °C ausgelegt.
Um auch bei diesen, für die Materialien ungünstigen Betriebs-
parametern eine vergleichsweise lange Betriebsdauer zu ermög-

lichen, ist die Brennkammerwand 24 auf ihrer dem Arbeitsmedium M zugewandten Seite mit einer aus Hitzeschildelementen 26 gebildeten Brennkammerauskleidung versehen. Die Hitzeschildelemente 26 sind über Befestigungsmittel 37 an der Brennkammerwand 24 unter Belassung eines Spalts befestigt, dessen Spaltmaß zugleich der Abmessung des Innenraums 27 senkrecht zur Brennkammerwand 24 entspricht. Jedes Hitzeschildelement 26 ist arbeitsmediumsseitig, das heißt auf dessen Heißseite 35, mit einer besonders hitzebeständigen Schutzschicht 31 ausgestattet. Aufgrund der hohen Temperaturen im Inneren der Brennkammer 4 ist zudem für die Hitzeschildelemente 26 ein Kühlsystem vorgesehen. Das Kühlsystem basiert dabei auf dem Prinzip der konvektiven Kühlung, bei dem Kühlmittel, z.B. Kühlluft, entlang einer Oberfläche des zu kühlenden Bauteils geführt wird. Alternativ kann das Kühlsystem für eine Prallkühlung ausgelegt sein, bei dem Kühlluft als Kühlmittel K unter ausreichend hohem Druck an einer Vielzahl von Stellen an das zu kühlende Bauteil senkrecht einer Bauteiloberfläche geblasen wird.

Das Kühlsystem ist bei einem einfachen Aufbau für eine zuverlässige, flächendeckende Beaufschlagung der Hitzeschildelemente 26 mit Kühlluft K und zudem für einen besonders geringen Kühlmitteldruckverlust ausgelegt. Dazu werden die Hitzeschildelemente 26 von ihrer Kaltseite 33 durch die Kühlluft K gekühlt, die einem zwischen dem Hitzeschildelement 26 und der Brennkammerwand 24 gebildeten Zwischenraum 27 durch geeignete - nicht näher dargestellte Zufuhrleitungen - zugestellt wird und je nach Kühlmechanismus auf bzw. entlang der Kaltseite 33 eines jeweiligen Hitzeschildelements 26 geleitet wird.

Hierbei wird das Prinzip der sehr vorteilhaften geschlossenen Luftkühlung angewendet. Nach Abschluss der Kühlaufgabe an den Hitzeschildelementen 26 wird die erwärmte Luft vollständig zur Verbrennung im Brenner 10 genutzt und die mitgeführte Wärme ebenfalls rückgeführt; die geschlossene Luftkühlung ermöglicht somit höhere Leistungen/Wirkungsgrade sowie niedri-

gere NO_x-Emissionen als z.B. die offene Luftkühlung. Bei der offenen Luftkühlung wird die "kalte" Kühlluft dem Heizgasstrom stromab der Verbrennung zugemischt, was zu einer niedrigeren Gasturbinen-Effizienz und höheren Schadstoffwerten führt.

Für einen sowohl temperaturbeständigen als auch schwingungsresistenten Aufbau der als Ringbrennkammer ausgestalteten Brennkammer 4 ist eine Brennkammerauskleidung mit einer Anzahl von von temperaturfesten und formversteiften Hitzeschildelementen 26 vorgesehen. Auf diese Weise ist eine vollflächige weitgehend leakagefreie Brennkammerauskleidung in dem Ringraum gebildet, ein sogenannter Brennkammerliner.

In dem zwischen Hitzeschildelement 26 und Brennkammerwand 24 gebildeten Innenraum 27 ist ein Strömungselement 49 eingefügt. Dieses ist formschlüssig an der Brennkammerwand 24 befestigt, z.B. mittels einer geeigneten Verhakung oder einer Schraubverbindung. Das Strömungselement 49 ist dabei so angeordnet, dass ein thermisch hochbelasteter erster Wandabschnitt 47A des Hitzeschildelements 26, wie hier gezeigt in der Nähe des Brenners 10, verstärkt kühlbar ist. Das Strömungselement 49 bewirkt im Innenraum 27 einen Strömungskanal 51 für das Kühlmittel K mit gegenüber stromauf des Strömungselements 49, das heißt im Bereich des gegenüber dem ersten Wandabschnitt 47A weniger thermisch belasteten Wandabschnitts 47B, reduziertem Strömungsquerschnitt. Dies führt zu einer gezielt einstellbaren lokalen Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des Kühlmittels im Strömungskanal 51 und damit zu einem gesteigerten Wärmetransfer vom thermisch hochbelasteten Wandabschnitt 47A auf das Kühlmittel K.

Dabei können die formschlüssigen Strömungselemente 49 auf der Brennkammerwand 24 vorteilhafterweise auch nachträglich, d.h. im Zuge einer Revisionsmaßnahme einer bereits bestehenden Brennkammer 4, entweder von außen durch das Gehäuse 29 oder auch von Innen an der Brennkammerwand 24 angebracht werden.

FIG 3 zeigt in einer Schnittansicht einen Ausschnitt der Brennkammer 4 im Bereich der Brennkammerwand 24 mit einem Strömungselement 49. Das Hitzeschildelement 26 ist von der Brennkammerwand 24 beabstandet und bildet einen mit einem Kühlmittel K beaufschlagbaren Innenraum 27. In dem Innenraum 27 ist ein Strömungselement 49 zur gezielten Einstellung eines Kühlmittelstroms eingefügt. Das Strömungselement 49 ist im gezeigten Ausführungsbeispiel im Wesentlichen quaderförmig und auf der Brennkammerwand 24 formschlüssig angebracht. Hierdurch wird im Bereich des Strömungselements 49 eine Verringerung des Strömungsquerschnitts für den Kühlmittelstrom erreicht, wobei durch das Strömungselement 49 ein Strömungskanal 51 für Kühlmittel K gebildet ist, in dem die Strömungsgeschwindigkeit v_1 des Kühlmittelstroms gegenüber der Strömungsgeschwindigkeit v_0 stromauf des Strömungselements 49 erhöht ist. Durch die lokale Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit im Strömungskanal 51 ist ein erhöhter Wärmetransfer von der Heißeite 35 des Hitzeschildelements 26 auf das Kühlmittel K, beispielsweise Kühlluft, bewirkt. Ein thermisch besonders hoch belasteter Wandabschnitt 47a des Hitzeschildelements 26 kann somit gezielt lokal mit höherer Kühlungsleistung gekühlt werden. Das Strömungselement 49 ermöglicht eine Kühlungsanpassung, wobei das Spaltmaß im Innenraum 27 zwischen der Kaltseite 33 und der Brennkammerwand 24 im Hinblick auf die Kühlungsanforderung angepasst wird. Zusätzlich kann das Hitzeschildelement 26 für eine Beaufschlagung mit sehr heißen Verbrennungsgasen auf der Heißeite 35 eine hochtemperaturbeständige Schutzschicht aufweisen. Eine solche Schutzschicht 31 kann beispielsweise eine keramische Wärmedämmschicht sein.

Gegenüber der FIG 3 zeigt die FIG 4 ein Ausführungsbeispiel mit einem modifizierten Strömungselement 49, welches in den Innenraum 27 eingefügt ist. Der durch das Strömungselement 49 im Innenraum 27 gebildete Strömungskanal 51 für das Kühlmittel K variiert in Strömungsrichtung. Der Strömungsquerschnitt

im Strömungskanal 51 nimmt in Strömungsrichtung zunächst kontinuierlich ab und erreicht einen Wert, der in der Folge für einen gewissen Strömungsweg konstant bleibt, um danach wieder auf einen größeren Strömungsquerschnitt anzuwachsen. Dieses
5 näherungsweise keilförmige Profil des Strömungselement 49 führt im Bereich des linearen Anstiegs zu einer entsprechend proportional anwachsenden Strömungsgeschwindigkeit v_1 im Strömungskanal 51. Durch konstruktive Auslegung und geometrische Formgebung des Strömungselements 49 kann demzufolge auf
10 einfache Art und Weise eine Anpassung an die jeweilige Kühlungsaufgabe im Innenraum 27 erfolgen.

Für einen sowohl temperaturbeständigen als auch schwingungsresistenten Aufbau der als Ringbrennkammer ausgestalteten
15 Brennkammer 4 ist eine Brennkammerauskleidung mit einer Anzahl von in einer bevorzugten Ausgestaltung, wie nachstehend anhand der Fig. 5 und Fig. 6 näher beschrieben, sowohl temperaturfesten als auch formversteiften Hitzeschildelementen 26 vorgesehen. Auf diese Weise ist eine vollflächige weitgehend
20 leakagefreie Brennkammerauskleidung in dem Ringraum gebildet, ein sogenannter Brennkammerliner, welcher mittels des Strömungselements 49 im Innenraum 27 überdies besonders effizient, weil lokal gezielt, kühlbar ist.

25 Das Schwingungsverhalten des Hitzeschildelements 26 ist hierbei durch eine gezielte geometrische Konturgebung günstig beeinflusst, so dass die Eigenschwingungsmoden des Hitzeschildelements 26 gegenüber der Anregungsfrequenz einer Verbrennungsschwingung erhöht ist. Resonanzeffekte durch positive
30 Rückkopplung können somit vermieden werden. Zur Illustration zeigt Fig. 5 in vereinfachter perspektivischer Darstellung ein Ausführungsbeispiel eines Hitzeschildelements 26 sowie Fig. 6 eine etwas vergrößerte Ansicht der Stirnseitenfläche des in Figur 5 dargestellten Hitzeschildelements 26. Das Hitzeschildelement 26 erstreckt sich entlang einer Längsachse 43
35 und einer senkrecht zur Längsachse 43 verlaufenden Querachse 45. Das Hitzeschildelement 26 umfasst eine Wand 47, die eine

Heißseite 35 mit einer von dem heißen Arbeitsmedium M beaufschlagbaren Heißseitenoberfläche 55 aufweist. Der Heißseite 35 der Wand 47 gegenüberliegend ist eine Kaltseite 33 vorgesehen. Die Wand 47 weist zwei Wandabschnitte 47A, 47B auf, wobei ein erster Wandabschnitt 47A einem zweiten Wandabschnitt 47B entlang der Längsachse 43 in Strömungsrichtung des Arbeitsmediums M vorgeordnet ist. Weiterhin ist der zweite Wandabschnitt 47B gegenüber dem ersten Wandabschnitt 47A in Richtung der Heißseite 35 geneigt, so dass der zweite Wandabschnitt 47B einen Neigungswinkel mit der Längsachse 43 bildet. Die Neigung ist dabei so eingestellt, dass eine konstruktive Anpassung zur Auskleidung einer Brennkammerwand 24 (vgl. Figur 2) erreicht ist. Auf der Heißseitenoberfläche 55 sind im ersten Wandabschnitt 47A Oberflächenbereiche 57A, 57B gebildet. Die Oberflächenbereiche 57A, 57B weisen jeweils entlang der Längsachse 43 und entlang der Querachse 45 eine nicht-planare, das heißt gekrümmte Oberflächenkontur auf. Der Oberflächenbereich 57A ist dabei in Richtung der Querachse 45 konkav gekrümmt und in Richtung der Längsachse 45 konvex gekrümmt, so dass im Oberflächenbereich 57A eine Sattelfläche 59 mit einem Sattelpunkt P_s gebildet ist. Der zweite Oberflächenbereich 57B weist eine sphärisch Oberflächenkontur auf und ist entlang der Längsachse 43 in Strömungsrichtung des Arbeitsmediums M, z.B. des heißen Verbrennungsgases, dem Oberflächenbereich 57A nachgeordnet, wobei der Oberflächenbereich 57A in den zweiten Oberflächenbereich 57B über einen Übergangsbereich 61 übergeht.

Durch die Formgebung durch Oberflächenkonturierung in den Oberflächenbereich 57A, 57B des ersten Wandabschnitts 47A ist eine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften, insbesondere der Steifigkeit des Hitzeschildelements 26 erreicht. Dadurch werden die Eigenschwingungsmoden des Hitzeschildelements 26 gegenüber der Anregungsfrequenz einer Verbrennungsschwingung gezielt beeinflusst. Die Erhöhung der Steifigkeit des Hitzeschildelements 26 erfolgt durch Formversteifung und führt unmittelbar zu einer Erhöhung der Eigenmode gegenüber

der maßgeblichen Anregungsfrequenz einer Verbrennungsschwingung. Aufgrund dieser Erhöhung der Steifigkeit durch geometrische Ausgestaltung der Heißeitenoberfläche bei der Erfindung ist das Hitzeschildelement 26 den konventionellen planaren Hitzeschildelementen deutlich überlegen. Dabei ist eine
5 zweidimensionale gekrümmte Oberflächenkontur, d.h. sowohl entlang der Längsachse 43 als auch entlang der Querachse 45 dem Oberflächenbereich 57A, 57B aufgeprägt. Eine gekrümmte Oberflächenkontur kann dabei auch auf der Kaltseite 33 oder
10 auf den Oberflächen im zweiten Wandabschnitt 47B aufgeprägt sein, wo dies zu einer weiteren Verbesserung des Schwingungsverhaltens im Hinblick auf eine geringe Anfälligkeit gegenüber Resonanzanregung durch übliche Verbrennungsschwingungsfrequenzen führt. Es hat sich allerdings überraschenderweise
15 gezeigt, dass bereits eine ausreichende Formversteifung durch eine zweidimensionale Oberflächenkonturierung der Heißeitenoberfläche 55 im ersten Wandabschnitt gute Ergebnisse liefert. So weist ein herkömmliches - im Wesentlichen planares - Hitzeschildelement eine typische Eigenfrequenz bei z.B. 380
20 Hz auf, wohingegen durch die Konturgebung gemäß der Erfindung bei ansonsten gleichen Abmessungen eine Erhöhung der Eigenfrequenz auf 440 Hz erreicht werden konnte. Bereits konkave und/oder konvexe Oberflächenkonturen mit nur geringen Krümmungsradien bewirken eine Erhöhung der Steifigkeit des Hitzeschildelements 26.

Die Ausgestaltung gemäß dem Ausführungsbeispiel in Figur 5 mit einer Kombination von Sattelflächenkontur im Oberflächenbereich 57A und sphärisch-konkaver Oberflächenkontur im Oberflächenbereich 57B erweist sich als besonders günstig. Durch
30 diese Ausformung der Heißeitenoberfläche 45 ist in Richtung der Längsachse linear betrachtet eine S-förmige Kontur im ersten Wandabschnitt 47A erreicht, wohingegen der zweite Wandabschnitt 47B weitgehend planar ausgestaltet ist. Hierdurch wird beim Einsatz des Hitzeschildelements 26 in einer Brennkammer 4 eine günstige Strömungsführung des Arbeitsmediums M erzielt. Insbesondere bei einer Ringbrennkammer einer
35

Gasturbine wird - wie in Figur 2 gezeigt - eine besonders gleichmäßige und strömungsverlustarme Umlenkung des heißen Arbeitsmediums M mit nachfolgender Einströmung in die Turbinenbeschaufelung erreicht. Durch die S-Form ist überdies eine direkte Flammeneinwirkung auf die Heißeitenoberfläche 55 vermieden. Ferner wird durch diese Oberflächenkontur ein verbessertes Überströmen des Arbeitsmediums M entlang der Heißeitenoberfläche 55 von dem ersten Wandabschnitt 47A zu dem zweiten Wandabschnitt 47B bewirkt.

Um das Hitzeschildelement 26 besonders beständig gegenüber der Beaufschlagung mit heißem Arbeitsmedium M auszugestalten, ist auf dessen Heißeite 35 eine hitzebeständige Schutzschicht 31 aufgebracht, z.B. eine keramische hochtemperaturresistente Wärmedämmschicht. Zu Kühlungszwecken ist auf der Kaltseite 33 eine Kühloberfläche 53 gebildet, die mit einem Kühlmittel K, z.B. Kühlluft, beaufschlagt wird. Der Kühlmittelstrom des Kühlmittels K wird dabei gezielt eingestellt, indem im Einbaufall das oder jedes Hitzeschildelement 26 einen mit dem Kühlmittel K beaufschlagbaren Innenraum 27 bildet (vgl. Figuren 2, 3 und 4), in dem ein Strömungselement 49 eingefügt ist. Somit ist beim Einsatz des Hitzeschildelements 26 zur Auskleidung einer Brennkammer 4 sowohl der Einschluss

und die Strömungsführung des des heißen Arbeitsmediums M als auch der Schutz anderer, möglicherweise weniger hitzebeständiger Bauteile oder Komponenten, wie z.B. der Brennkammerwand 24, vor Überhitzung oder thermischer Zerstörung gewährleistet, wobei eine gezielte Kühlung der besonders temperaturbelasteten Bereiche bei Einsatz der Strömungselements 49 erreicht ist.

Mit einem formversteiften Hitzeschildelement 26 ist daher ein thermisch hochbelastbares und gut kühlbare Bauteil angegeben, mit dem auf einfache Weise eine flächige Auskleidung, insbesondere eine vollflächige Brennkammerauskleidung, realisierbar ist, die durch die Formversteifung zugleich besonders wenig anfällig gegenüber Verbrennungsschwingungen ist.

Die FIG 7 zeigt in einer perspektivischen Explosionsdarstellung einen Ausschnitt einer Brennkammerwand 24 mit Hitzeschildelement 26 und mit Strömungselement 49. Das Hitzeschildelement 26 ist als einschaliger Hohlkörper mit einem Hohlraum 63 versehen. Der Hohlraum 63 öffnet sich in Richtung der Brennkammerwand 24, so dass in der Einbausituation das Strömungselement 49 von dem einschaligen Hohlkörper umfasst ist. Das Hitzeschildelement 26 weist einen ersten Wandabschnitt 47A und einen gegenüber dem ersten Wandabschnitt 47A geneigten zweiten Wandabschnitt 47B auf. Über Befestigungselemente 37 ist das Hitzeschildelement 26 auf der Brennkammerwand 24 befestigbar, z.B. durch eine Schraubverbindung, wobei einem Befestigungselement 37 eine Bohrung 65 in der Brennkammerwand 24 zugeordnet ist. Die Bohrung 65 kann dabei wahlweise auch als eine Gewindebohrung mit einem Gewinde ausgestaltet sein. Im Bereich der Befestigung des Hitzeschildelements 26 auf der Brennkammerwand 24 weist das Strömungselement 49 entsprechende Aussparungen 67 auf. Das Strömungselement 49 ist näherungsweise keilförmig ausgestaltet, um im Bereich des thermisch höher belasteten ersten Wandabschnitts 47A eine Strömungsgeschwindigkeitserhöhung des Kühlmittels K zu bewirken. Das Strömungselement 49 ist dabei mit der Brennkammerwand 24 lösbar verbunden, so dass ein Austausch oder eine Umrüstung mit anderen Strömungselementen 49 bei Änderung der Kühlaufgabe möglich ist. Das Anbringen des Strömungselements 49 erfolgt dabei unter Einhaltung eines Formschlusses zwischen dem Strömungselement 49 und der Brennkammerwand 24, um mechanische Stabilität einerseits und präzise Einstellung des Strömungsquerschnitts für das Kühlmittel K andererseits zu gewährleisten. Das Strömungselement 49 ist zur Befestigung an der Brennkammerwand mit Bohrungen 65 versehen, die ein Verschrauben von außen oder von innen an die Brennkammerwand 24 ermöglichen. Das Strömungselement 49 ist ein Metallteil, insbesondere ein Metallblech oder ein metallisches Formteil.

Patentansprüche

1. Brennkammer (4) für eine Gasturbine (1), deren Brennkammerwand (24) innenseitig mit einer von einer Anzahl von Hitzeschildelementen (26) gebildeten Auskleidung versehen ist, wobei das oder jedes Hitzeschildelement (26) mit der Brennkammerwand (24) einen mit einem Kühlmittel (K) beaufschlagbaren Innenraum (27) bildet, in dem ein Strömungselement (49) zur gezielten Einstellung eines Kühlmittelstroms eingefügt ist.
2. Brennkammer (4) nach Anspruch 1, bei der durch das Strömungselement (49) ein Strömungskanal (51) für Kühlmittel (K) gebildet ist, in dem die Strömungsgeschwindigkeit (v_1) des Kühlmittelstroms gegenüber der Strömungsgeschwindigkeit (v_0) stromauf des Strömungselements (49) erhöht ist.
3. Brennkammer (4) nach Anspruch 1 oder 2, bei der einem Hitzeschildelement (26) ein jeweiliges Strömungselement (49) zur Kühlung eines thermisch hochbelasteten Wandabschnitts (47A) des Hitzeschildelements (26) zugeordnet ist.
4. Brennkammer (4) nach Anspruch 3, bei dem das Hitzeschildelement (26) ein einschaliger Hohlkörper mit einem Hohlraum (63) ist, in dem das Strömungselement (49) angeordnet ist.
5. Brennkammer (4) nach Anspruch 3 oder 4, bei dem das Hitzeschildelement (26) einen Oberflächenbereich (57A, 57B) mit entlang einer Längsachse (43) und einer Querachse (45) gekrümmter Oberflächenkontur aufweist.
6. Brennkammer (4) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei der das Strömungselement (49) formschlüssig an der Brennkammerwand (24) angebracht ist.

7. Brennkammer (4) nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
bei der das Strömungselement (49) mit der Brennkammerwand
(24) lösbar verbunden ist. -----
- 5 8. Brennkammer (4) nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
mit einem Strömungselement (49) aus Metall, insbesondere ei-
nem Metallblech oder einem metallischen Formteil.
9. Gasturbine (1) mit einer Brennkammer (4) nach einem der
- 10 Ansprüche 1 bis 8.

30. Mai 2003

Zusammenfassung

Brennkammer

- 5 Eine Brennkammer (4) einer Gasturbine (1), in der zur Erzeugung eines Arbeitsmediums (M) ein zugeführter Brennstoff mit zugeführter Verbrennungsluft zur Reaktion gebracht wird, und deren Brennkammerwand (24) innenseitig mit einer von einer Anzahl von Hitzeschildelementen (26) gebildeten Auskleidung
- 10 versehen ist, wobei das oder jedes Hitzeschildelement (26) mit der Brennkammerwand (24) einen mit einem Kühlmittel (K) beaufschlagbaren Innenraum (27) bildet, soll bei vergleichsweise einfachem Aufbau einen hohen Anlagenwirkungsgrad aufweisen. Dazu ist erfindungsgemäß im jeweiligen Innenraum (27)
- 15 jeweils ein Strömungselement (49) angeordnet, über welches eine lokal-gezielte Einstellung des Kühlmittelstroms erreicht ist.

FIG 2

FIG 1

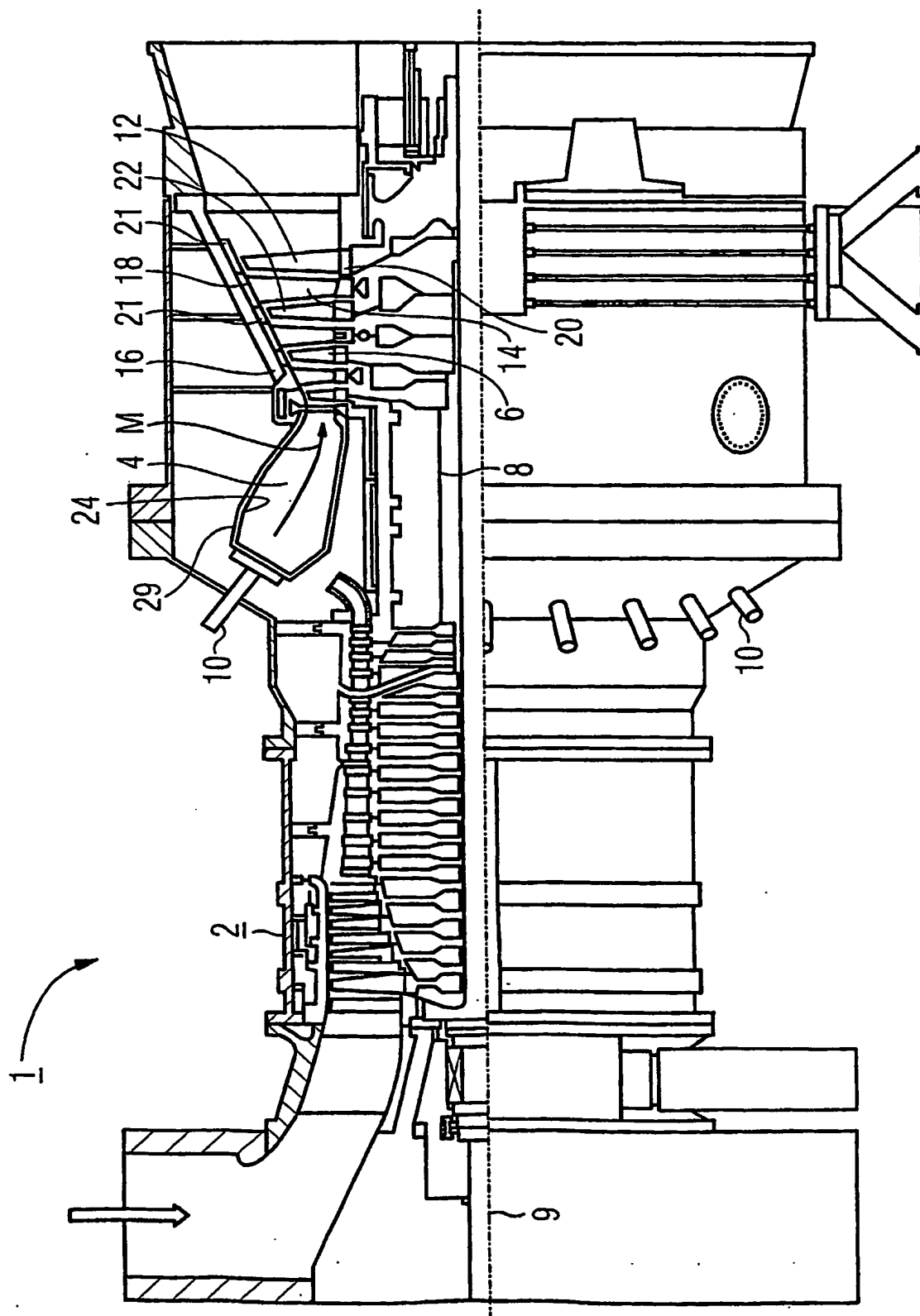


FIG 3

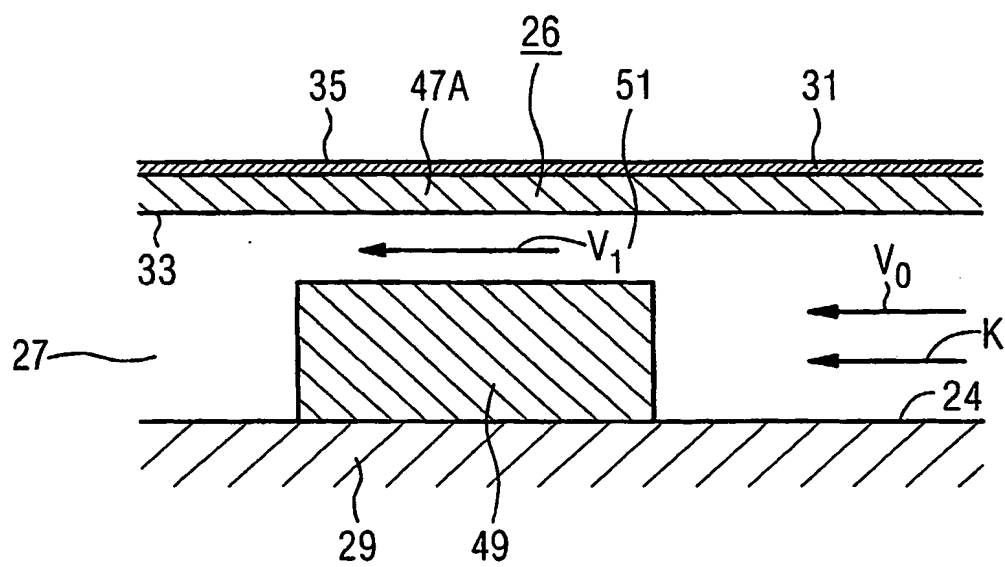


FIG 4

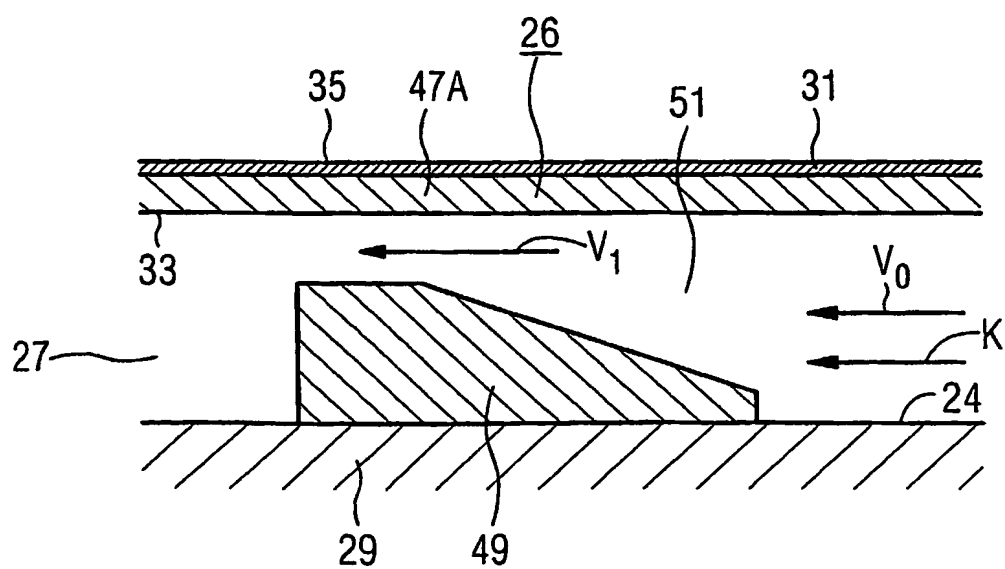


FIG 5

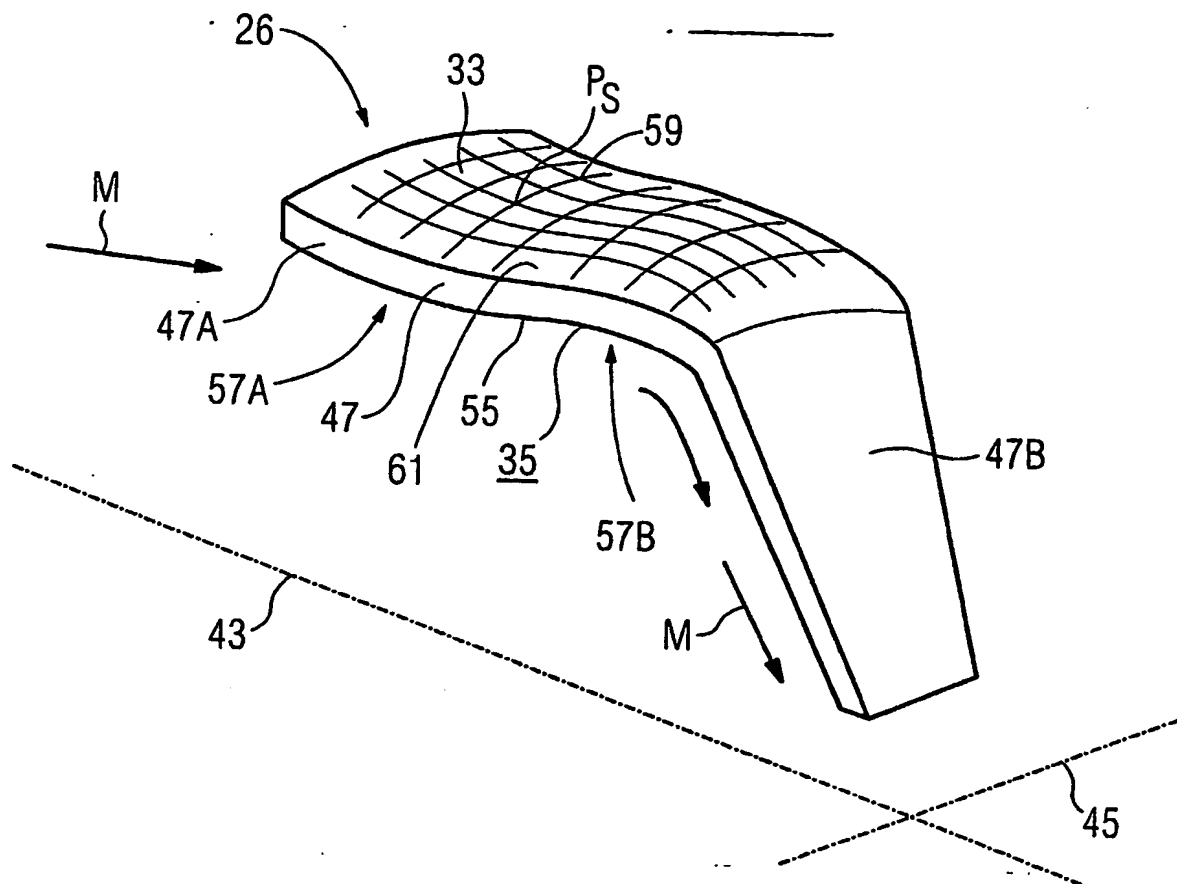
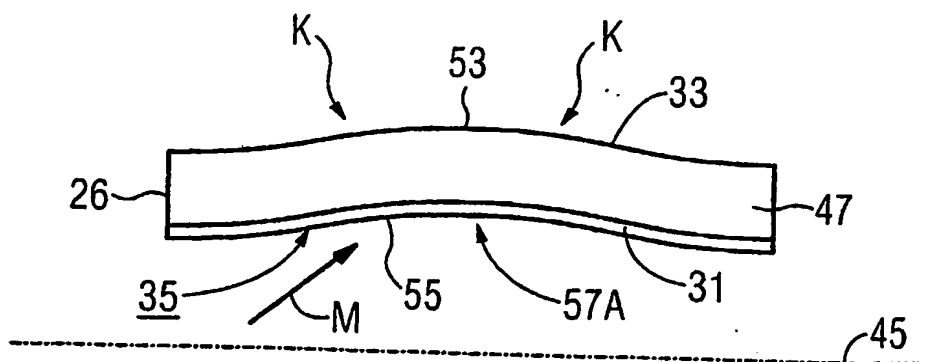
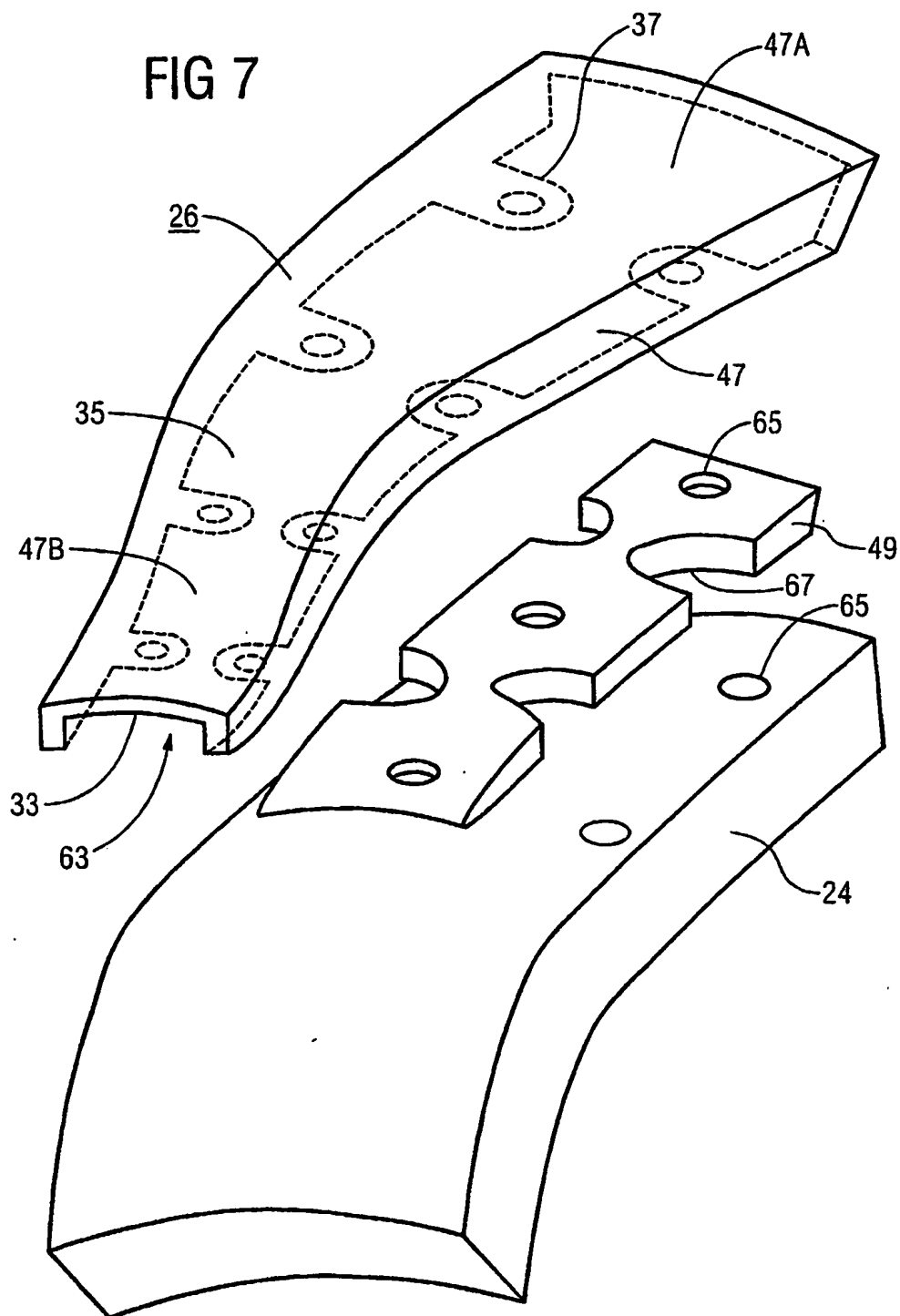


FIG 6





PCT/EP2004/004442



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.